Plethysmographische Untersuchungen

III. Mitteilung

Ueber vergleichende plethysmographische Untersuchungen an Hand und Fuß

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde

der medizinischen Fakultät

der Universität Basel

vorgelegt von

AURELIO CERLETTI

aus Vals (Graubünden)

1945

Druck von Benno Schwabe & Co.

Basel

Plethysmographische Untersuchungen

III. Mitteilung

Ueber vergleichende plethysmographische Untersuchungen an Hand und Fuß

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde

der medizinischen Fakultät

der Universität Basel

vorgelegt von

AURELIO CERLETTI

aus Vals (Graubünden)

1945

Druck von Benno Schwabe & Co.

Basel

Von der medizinischen Fakultät Basel genehmigt auf Antrag
von Professor Dr. *E. Rothlin*
Tag der Promotion: 11. November 1945

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Erschienen in den Helv. Physiol. Acta **3** 537–564 (1945)

In der 1. Mitteilung (1) haben *Rothlin* und *Bluntschli* einen nach methodisch-technisch neuen Gesichtspunkten konstruierten Plethysmographen (Pl) beschrieben und zugleich auf Grund zahlreicher Bestimmungen das normale Handplethysmogramm definiert. Eine 2. Mitt. (2) behandelte das Volumverhalten der Hand bei künstlicher Stauung und Drosselung. Zweck der vorliegenden Untersuchung ist es, durch gleichzeitige Bestimmung des Hand- und Fußplethysmogrammes Vergleichsmöglichkeiten und damit erweiterte Grundlagen für die Analyse der Volumkurven zu gewinnen.

Methodik

Für die Hand kommt der von *Rothlin* und *Bluntschli* beschriebene Pl zur Anwendung. Der Fuß-Pl ist nur in der Konstruktionsanordnung verschieden, sonst aber nach gleichem Prinzip gebaut (siehe Abb. 1a). Die Gipsmanschette für den Fuß wird in gleicher Weise angefertigt, wie es in der 1. Mitt. für die Hand beschrieben wurde. Das Fußvolumen wird nicht, wie bei der Hand, mittels Überlaufgefäß gemessen, sondern indirekt bestimmt. Der Fuß ruht auf der gleichen Stütze wie im Pl in einer Wanne, die bis zu einer Marke, welche der Höhe des Wasserstandes im gefüllten Pl entspricht, mit Wasser gefüllt wird. Die nach Herausnahme des Fußes benötigte Wassermenge bis zur Erreichung der Marke bezeichnet das Fußvolumen.

Um die Verwendbarkeit des Pl zu erhöhen und um verschiedenen Lagerungsbedingungen entsprechen zu können, ruht der Pl in Gelenkverbindung auf einem fahrbaren Träger (siehe Abb. 1b). Es besteht so eine Kippmöglichkeit von 90°, entsprechend einer horizontalen und vertikalen Insertion des eingeführten Fußes als extreme Lagerung. Zwischen diesen Werten von 0–90° kann der Pl auf jede beliebige Neigung eingestellt werden. Um für vergleichende Untersuchungen zu dienen, wurde der Voluminhalt des Fuß-Pl so gewählt, daß das Verhältnis der Mittelwerte von Hand- und Fußvolumen in Übereinstimmung steht mit dem Verhältnis des Volumens von Hand- und Fuß-Pl. Eine Fußstütze im Innern des Pl erweist sich als notwendig, um die Stellung im Talocruralgelenk so zu gestalten, daß trotz Aufruhens der ganzen Sohle kein rechter, sondern ein leicht stumpfer Winkel im Sinne einer Plantar-

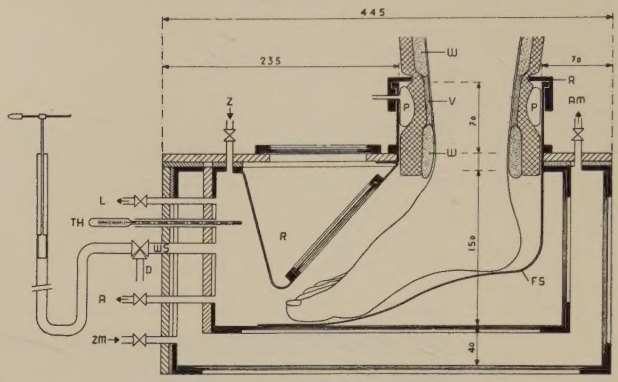


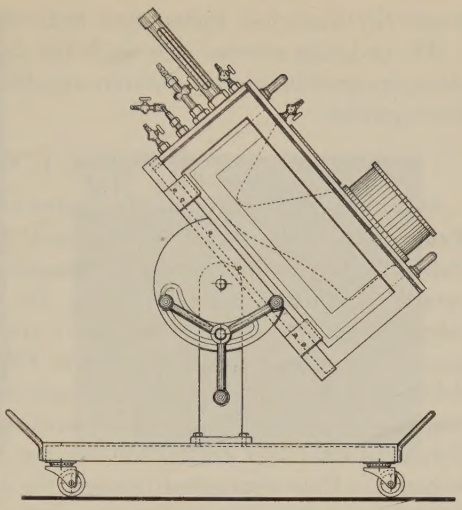
Abb. 1a. Modell des Fußplethysmographen. Maße in mm. Außer der frontalen und des größten Teiles der Deckwand bestehen alle Wände aus Glasplatten, so daß der Fuß jederzeit beobachtet werden kann. ZM und AM für Zu- und Abfluß des Thermostatenwassers; Z bzw. L zur Entlüftung und Füllung des Plethysmographen je nach dessen Stellung; Th Thermometer; WS Verbindung über den Dreiweghahn D zum Wasserschreiber; A Wasserentleerung; R eingebauter Raster zur Verkleinerung des toten Raumes; FS Fußstütze; W-V-W Watte-Vaseline-Watte-Polster zwischen Gipsmanschette und Unterschenkel; P Gummipneu mit Ansatzstutzen; R Abschlußring (s. auch Modell und Beschreibung des Handplethysmographen in Mitt. I von *Rothlin* und *Bluntschli*).

flexion des Fußes besteht. Diese Stellung wird als am wenigsten ermüdend empfunden und gibt dem Fuß den besten Halt.

Für die kombinierte Versuchsanordnung ist eine wichtige Grundbedingung, daß Hand und Fuß unter sich und mit dem Herzen gleiche Niveaulage einnehmen, damit nicht durch verschiedenartigen Einfluß hydrostatischer Kräfte unterschiedliche Ergebnisse zustande kommen. Wenn man bedenkt, daß nach 1 Stunde Sitzen das Fußvolumen um 1,1% vergrößert gefunden wird (*Atzler* und *Herbst* [3]), so ist es klar, daß Versuche in sitzender Stellung zum vornherein ausgeschlossen sind. Am liegenden Menschen und unter Einhaltung der Herzniveaulage von Hand und Fuß erweist sich als beste Lösung die Fixierung der unteren Extremität in mittlerer Beugehaltung des Knies und der Hüfte. Der Pl ist dabei um ca. 30° geneigt. Bei vollständig gestrecktem Bein und senkrecht gestelltem Pl ist die Lagerung unbequem und von rascher Ermüdung begleitet. Ebenso lastet in letzterem Falle eine bedeutend höhere Wassersäule auf der Fußwurzel, als wenn der Pl in Schrägstellung steht.

Alle Messungen erfolgen an den rechtsseitigen Extremitäten. Nach Anlegen der Gipsmanschetten lagert die Versuchsperson (Vp) sich möglichst bequem auf einem Ruhebett. Zuerst wird der Fuß in den Pl eingeführt, wofür freie Beweglichkeit des Oberkörpers nötig ist und eine vorherige Fixierung der Hand hinderlich wäre. Erst nach Beendigung der Abdichtung am Fuß werden die Vorbereitungen an der Hand fortgesetzt. Am Oberarm und dicht unterhalb des Kniegelenkes werden Staumanschetten angelegt, die über zwei unabhängig voneinander einstellbare Reduziersysteme an eine gemeinsame Druckluftbombe angeschlossen sind. Die definitive Lagerung der Vp muß durch Unterschieben von Stützen und Kissen evtl. erleichtert

werden, damit die Vp möglichst entspannt ist und jede aktiv-muskuläre Haltung aufgeben kann. Beide Pl werden mit Wasser gefüllt, und zwar wird auch für diese Versuche die als indifferent empfundene Temperatur von 31–32° Celsius gewählt. Zur Konstanthaltung der Temperatur dienen für Hand und Fuß je eine getrennte Thermostateinrichtung, wie sie in der 1. Mitt. beschrieben wurde. Die gleich geeichten Wassermanometer werden auf gemeinsame Ausgangshöhe eingestellt, und es wird darauf geachtet, daß die Distanz Pl–Volumschreiber für Hand und Fuß gleich groß ist. Die Schreibspitzen sind so angelegt, daß Hand- und Fußplethysmogramm in zeitlicher Konkordanz übereinander aufgezeichnet werden. Ferner werden in jedem Versuch registriert: Atmung, Signal und Zeit. Die in der 1. und 2. Mitt. hervorgehobenen allgemeinen Versuchsbedingungen gelten auch für die vorliegenden Untersuchungen in vollem Umfange.



ANSICHT DES FUSSPLETHYSMO= GRAPHEN AUF DEM FAHRBAREN TRÄGER

Abb. 1b.
Seitenaufriß des Plethysmographen in Kippstellung auf dem fahrbaren Träger.

Eigene Versuche: Insgesamt wurden 62 Versuche an 7 männlichen und 5 weiblichen Vp vorgenommen. Die Durchschnittsvolumina von Hand und Fuß wurden zu 430 bzw. 1280 ccm ermittelt bei einer Schwankungsbreite zwischen 390 und 520 bzw. 1180 und 1500 ccm. Außer der Aufzeichnung des normalen Hand- und Fußplethysmogrammes über eine längere Zeit (½ bis 1 Stunde) wurden bei allen Vp auch wiederholte Stau- und Drosselungsversuche durchgeführt. Das reaktive Verhalten der Volumkurven wurde am Effekt verschiedener respiratorischer Einflüsse geprüft, wobei teils spontane, teils vor dem Versuch vereinbarte Umstellungen und Veränderungen der freien Atmung als Reiz dienten, wie die einmalige tiefe Inspiration, willkürlicher Atemstillstand, Hyperventilation und in einigen Fällen auch Valsalvasche Preßdruckversuche. Alle gewonnenen Kurven wurden eingehend analysiert und die ausgemessenen Detailwerte in Übersichtstabellen geordnet.

Ergebnisse

1. Das Wellenbild im Hand- und Fußplethysmogramm

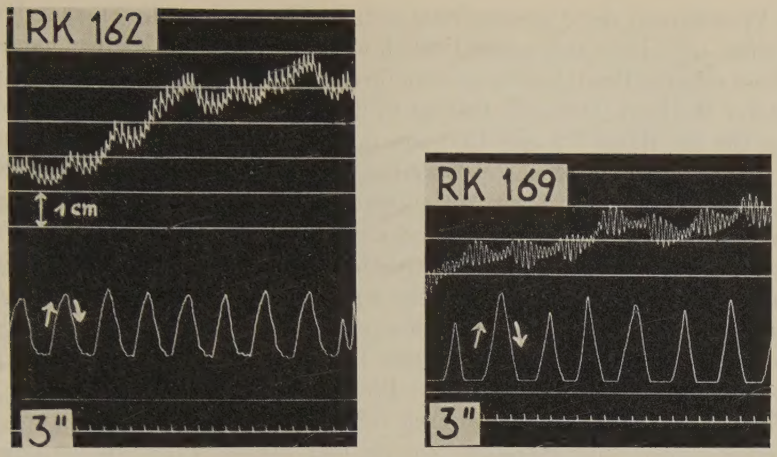
Rothlin und *Bluntschli* haben in der 1. Mitt. die Mannigfaltigkeit des plethysmographischen Wellenbildes eingehend analysiert und sich dabei einer zweckmäßigen Nomenklatur für die Systematisierung der verschie-

denen rhythmischen Phänomene bedient. Die Unterscheidung von Wellen I.–IV. Ordnung erweist sich auch für den Vergleich von Hand- und Fußplethysmogramm als am meisten zweckdienlich und wird in gleicher Weise durchgeführt.

a) Wellen I. Ordnung

Synchron mit dem Herzschlag treten im Plethysmogramm von Hand und Fuß Schwankungen auf, die Ausdruck der Volumwirkung des peripheren Pulses sind. Eventuelle frustrane Herzkontraktionen gelangen dabei selbstverständlich nicht zur Darstellung. Die Volumveränderung des Arterienrohres allein kann mit einwandfrei arbeitenden Sphygmographen bis in feinste Einzelheiten verfolgt werden. Plethysmographisch werden aber die Schwankungen eines ganzen Extremitätenteiles registriert. Es ist dabei zu beachten, daß für jede Zu- oder Abnahme des in die Messung einbezogenen Volumens arterieller Zufluß und venöser Abfluß miteinander in Konkurrenz stehen. Die Entstehungsbedingungen für das plethysmographisch registrierte Pulsbild sind also wesentlich andere als für das Sphygmogramm. In der pulsatorischen Veränderung des Gesamtvolumens ist das arterielle Pulsvolumen als Veränderung der lichten Weite des Arterienrohres enthalten. Das Pulsvolumen im engeren Sinn ist also nur ein Bestandteil des Volumpulses. In der Größenordnung und Formgestaltung weichen beide umsomehr voneinander ab, je größer das plethysmographierte Volumen gewählt wird und je weniger große und zahlreiche Arterien den betreffenden Körperabschnitt durchziehen, wobei der Volumpuls eine zunehmende Vereinfachung der Pulskurve zeigt. Findet man deshalb im Volumpuls des Fingers noch weitgehende Ähnlichkeit mit dem entsprechenden Sphygmogramm (*Goetz* [4]), so nähert sich die Pulsschwankung im Plethysmogramm der Hand und noch mehr des Fußes dem Bild eines einfachen systolischen Anstieges und diastolischen Abfalles. Vor allem am Fuß erfolgen Anstieg und Abfall, wenn auch mit verschiedener Geschwindigkeit, in fast gerader Linie. In der absteigenden Phase des Volumpulses der Hand dringt hingegen meist noch die Wirkung der arteriellen dikroten Nachschwankung durch, so daß bei einiger Übung aus diesen Formunterschieden beim Beurteilen des Plethysmogrammes sofort auf Hand oder Fuß geschlossen werden kann, wenn auch eventuell beide Volumpulse das gleiche Ausmaß besitzen (s. Abb. 2).

Die vom Finger zur Hand und zum Fuß zunehmende Vereinfachung des Pulsbildes im Plethysmogramm muß wohl zum Teil als Wirkung der Weichteile (Haut, Unterhaut, Muskulatur) aufgefaßt werden, deren Summe proportional ihrer Zunahme den Volumpuls dämpft. Dieser Effekt wird beeinflußt durch die jeweilige Blutfülle im venösen System, welche als Vergrößerung dieses dämpfenden Mantels wirken kann. Die Volumpulskurve ist daher im gleichen Plethysmogramm oft verschieden differenziert je nach der Niveaulage des betreffenden Kurvenabschnittes. Aber noch in anderer



a b

Abb. 2: 26jähr. ♂ Vp. Typischer Formunterschied des Volumpulses der Hand (2a) im Vergleich mit dem Volumpuls des Fußes (2b). Die dikrote Nachschwankung ist nur im Pulsbild der Hand erkennbar. Die im Rhythmus der Atmung wechselnden Pulsamplituden erzeugen ein deutliches Wellenbild II. Ordnung. Die Ausschläge der Atemkurve: Inspiration ↑, Exspiration ↓ sind in sämtlichen Abbildungen gleichsinnig. Ebenso beträgt der Abstand zwischen den horizontalen Eichlinien in allen Abb. 1 cm.

Beziehung macht sich ein Einfluß des venösen Systems auf den Volumpuls geltend. Während der Fußpunkt der sphygmographischen Pulskurve vom diastolischen Druck- und Füllungszustand in der Arterie abhängt, erleiden die Fußpunkte der plethysmographischen Pulsschwankungen zusätzliche Verschiebungen je nach der Größe des im betreffenden Zeitpunkt stattfindenden venösen Abflusses, was in beträchtlichen Dimensionsänderungen des absteigenden Schenkels der Volumpulskurve erkennbar ist. Dies beweist, daß konstante venöse Abflußverhältnisse an Hand oder Fuß auch während kurzer Zeit nicht vorausgesetzt werden dürfen.

Die Wellen I. Ordnung sind durchwegs in den Kurven männlicher Vp stärker ausgeprägt. Außer den durchschnittlich kleineren Hand- und Fußvolumina weiblicher Vp spielen hier sicher Unterschiede der absoluten Durchblutungsgröße mit, wobei neben dem geschlechtsbedingt-konstitutionellen Moment auch exogene Einflüsse wie z. B. berufliche Betätigung von Bedeutung sind. Da Ungenauigkeiten der Ausmessung bei kleinem Pulsvolumen schwerer ins Gewicht fallen, berücksichtigen wir für den näheren Vergleich der Wellen I. Ordnung nur die 48 Plethysmogramme männlicher Vp. Die mittlere Pulsfrequenz in den einzelnen Versuchen schwankt zwischen 46 und 65 Schlägen pro Minute. Berechnet man einen Durchschnittswert aller mittleren Frequenzen, so ergeben sich 53 Pulsschläge pro Minute. Da

alle Vp während der Untersuchung sich im Zustand vollkommener Ruhe befinden, und da es sich ausschließlich um junge kräftige Männer handelt, ist diese relative Bradykardie verständlich. Die in mm ausgemessene Amplitude der Wellen I. Ordnung beträgt in den Extremwerten sämtlicher Versuche für die Hand 1,5 und 13,0 mm und für den Fuß 1,0 und 15,0 mm. Die größte sowie die kleinste Amplitude wurde somit am Fuß gemessen. Der Durchschnitt sämtlicher Mittelwerte eines einzelnen Versuches ergibt aber eine Volumpulsamplitude von 6 mm an der Hand und 4 mm am Fuß. Bezogen auf prozentuale Werte des plethysmographierten Hand- und Fußvolumens bedeutet dies eine Zunahme von 0,07% an der Hand und 0,016% am Fuß. Der Volumpuls der Hand überwiegt also in der absoluten Größenanordnung den Fußpuls im Verhältnis 1 : 4,5. Das auf anderem Wege pro Zeit und Volumeinheit berechenbare Blutstromquantum muß demnach für Hand und Fuß sehr verschieden groß veranschlagt werden, womit auch die Untersuchungen von *Abramson, Zazeela* und *Marrus* (5) übereinstimmen. Daneben haben wohl auch Besonderheiten der Gewebsstruktur wie Dehnbarkeit, natürliche Spannung usw. einen Einfluß auf das Ausmaß des Volumpulses. Die Schwankungen der Pulsamplitude sind atmungsbedingt und werden daher im folgenden Abschnitt über Wellen II. Ordnung berücksichtigt.

b) Wellen II. Ordnung

Als Wellen II. Ordnung werden die atmungssynchronen Schwankungen des Plethysmogrammes bezeichnet. Der Begriff vereinigt in der Literatur als Sammelname mehrere Phänomene, die teils sehr verschieden sind und oft nur in der gemeinsamen Abhängigkeit von der Atmung übereinstimmen. Kreislauf und Atmung sind bekanntermaßen eng gekoppelte Systeme, deren gegenseitige Einflußzonen sich auf verschiedene Gebiete im Körper erstrecken. In der Beurteilung der durch die Atmung bewirkten Veränderungen im Plethysmogramm muß daher die Vielfalt der Wirkungswege neben den großen Täuschungsmöglichkeiten berücksichtigt werden, zumal schon jede Einzelphase des Plethysmogrammes als polygenetisches Summationsbild zu werten ist und daher gedanklich in ihre konstituierenden Elemente zerlegt werden muß.

Als hauptsächlichste zirkulatorische Einflüsse der Atmung sind bekannt:

1. Mechanisch-hydrodynamisch bedingte Auswirkungen

a) erhöhte Blutzufuhr nach dem rechten Herzen während der Inspiration
b) inspiratorisch-exspiratorisch wechselnder Widerstand in den Lungengefäßen
c) Erschwerung der Systole und Förderung der Diastole des Herzens während der Inspiration und umgekehrt
d) atmungsbedingte Schwankungen des Venendruckes:

obere Extremität und Körperhälfte – insp. Drucksenkung
exsp. Drucksteigerung
untere Extremität und Abdomen —— insp. Drucksteigerung
exsp. Drucksenkung

2. Auf nervösem Wege erfolgende Einflüsse

a) respiratorische Änderung der Herzschlagfrequenz (Fredericqsche Erscheinung – respiratorische Arhythmie – Bainbridge-Reflex usw.)

b) Traube-Heringsche Blutdruckwellen

c) venöse Druckwellen zentralen Ursprungs (*Gollwitzer-Meier*)

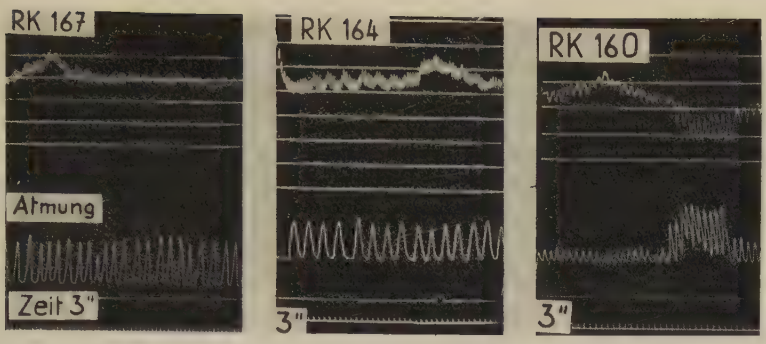
3. Humorale Wirkungen der wechselnden CO_2- und O_2-Spannung

In bezug auf die hämodynamischen Faktoren in diesem Wechselspiel dürfen wohl die meisten Fragen als gelöst und der Diskussion enthoben betrachtet werden. Über peripher-nervöse Vorgänge sind die meisten Ansichten aber ziemlich geteilt, und vollends in Hinsicht auf eine zentralnervöse Koordination von Atmung und Kreislauf weicht die Stellungnahme verschiedener Autoren stark voneinander ab, wobei vor allem die Beziehung Vasomotoren-Atemzentrum sehr ungleich bewertet wird. Den bis heute gesicherten Tatsachen dieses letzteren Problems wird wohl am besten eine von *Hess* (6) formulierte Anschauung gerecht: Atmung und Vasomotorik besitzen einzeln differenzierte Zentren in relativer Unabhängigkeit, die aber aus gemeinsamer Stamm-Masse entstanden sind und durch diese auch weiterhin funktionell miteinander verbunden bleiben. – Betrachten wir unter diesem Aspekt die in Frage kommenden Wirkungswege gegenseitiger zentraler Beeinflussung von Atmung und Kreislauf, so ist die Frage, ob es bestimmter Reizqualitäten bedarf, damit die Erregung vom Substrat des einen Zentrums in das des andern «durchschlage», dadurch nicht präjudiziert. Auf dem Boden dieser Anschauung als Arbeitshypothese ist für beide Fälle Raum gegeben und die Hilfe wenig aussagender Umschreibungen wie Reizirradiation usw. ist unnötig.

Wesen und Bedeutung plethysmographischer Untersuchungen können es aber nicht gestatten, weitgehende Schlüsse über zentral sich abspielende Vorgänge zu ziehen. Trotzdem haben sich die Diskussionen über atmungssynchrone Volumphänomene immer wieder auf dieses Gebiet erstreckt, vor allem im Zusammenhang mit dem Begriff der *Traube-Hering*schen *Wellen* (TH-Wellen). Es bedarf strenger terminologischer Richtlinien, um auf dem Gebiet der Atmungseinflüsse auf den Kreislauf nicht Vorgänge zu verwechseln, die wohl gleicherweise in Erscheinung treten können, aber verschiedenster Genese sind. Als Traube-Heringsche Wellen werden oft die atmungssynchronen Schwankungen des arteriellen Blutdrucks schlechthin bezeichnet. Aber schon in dieser Verwendung überschreitet der Begriff seinen Geltungsbereich, denn ihren Entstehungsbedingungen entsprechend gibt es noch

andere Arten respiratorisch erzeugter Blutdruckwellen. Für das im Rhythmus der Atmung wechselnde Volumverhalten sind aber nicht allein die im arteriellen System sich abspielenden Druckänderungen verantwortlich, so daß es noch weniger zulässig ist, auch dafür den Begriff der Traube-Heringschen Wellen zu verwenden. *Traube* und *Hering* (7) arbeiteten am kurarisierten Tier. Die in ihren Versuchen entdeckten Blutdruckwellen waren unabhängig von mechanischen Atembewegungen und blieben auch bei durchschnittenen Vagi bestehen. Diese sowie spätere, teils modifizierte Experimente anderer Autoren lieferten den (allerdings nicht unangefochten gebliebenen) Beweis für die Existenz einer synergistischen Beeinflussung des Gefäßnervenzentrums durch das Atemzentrum. In Berücksichtigung der Phasenverschiebung wurde eine gegen Ende der Inspiration vom Atemauf das Gefäßzentrum übergreifende Erregung postuliert, die sich als Tonusänderung der peripheren Gefäße und dadurch bedingte Blutdrucksteigerung manifestiert. (Zusammenfassende Literatur bei *Fleisch* [8] und *Tigerstedt* [9]). Wie man sich auch zum Problem der TH-Wellen einstellen mag, immer muß daran festgehalten werden, daß wir es mit einem unter experimentelldeterminierten Bedingungen gewonnenen Begriff zu tun haben, dem ein Äquivalent im Bereich humaner physiologischer Beobachtungsmöglichkeiten fehlt. Schon beim natürlich atmenden und nicht vagotomierten Tier mischen sich so viel weitere Einflußfaktoren in die Beziehung zwischen Atmung und Kreislauf, daß die eventuell vorhandenen TH-Wellen sensu strict. davon überdeckt und einer direkten Beurteilung entzogen sind.

Die bei der Plethysmographie zu beobachtenden atmungssynchronen Volumschwankungen (s. Abb. 2 und 3) wurden meist als den Blutdruckwellen analoge Vorgänge aufgefaßt. Mängel in der Methodik führten zwar dazu, daß die Echtheit respiratorischer Veränderungen überhaupt bezweifelt wurde, da sich nachweisen ließ, daß die unwillkürlichen und unbewußten, aktiven und passiven Mitbewegungen bei der Atmung ein respiratorisches Wellenbild vortäuschen können (s. Abb. 3c). *Römer* und *Hörnicke* (10) betrachten in ihrer Kritik der plethysmographischen Methodik solche Fehler als praktisch unvermeidbar. Wenn auch jeder, der plethysmographisch gearbeitet hat, diese störenden muskulär-mechanischen Einflüsse kennt, so haben doch die Mehrzahl der Untersucher diese Schwierigkeiten zu meistern gewußt. In Zweifelsfällen beweist das Volumverhalten bei unterbrochener Blutzirkulation (Drosselung), ob mechanische Faktoren bei der Entstehung des Wellenbildes II. Ordnung im Spiele sind. Bei einwandfreien Untersuchungsbedingungen fallen jegliche atmungssynchronen Volumänderungen mit Wirksamwerden der arteriellen Sperre weg. Neben *Hauss* (11), *Peters* (12), *Martin*, *Marcellus* und *Sykowski* (13) hat vor allem *Seiler* (14) in neuerer Zeit den Einfluß der Atmung auf das Plethysmogramm von Arm, Bein, Zehe und Finger untersucht und bei allen Formen vertiefter Atmung echte Volumschwankungen festgestellt.



a b c

Abb. 3. Echte Wellen II. Ordnung aus einer Fuß- (3a) und einer Handkurve (3b) einer 26jähr. ♂ Vp im Vergleich mit vorgetäuschten, durch unwillkürliche Mitbewegung der Extremität bei der Atmung bedingten, respiratorischen Schwankungen (3c, 24jähr. ♀ Vp).

In den von uns gleichzeitig an Hand und Fuß gewonnenen Plethysmogrammen wurde untersucht: 1. Das Vorkommen von Wellen II. Ordnung, 2. die Größe der Amplitude in mm.

1. In die Kategorie der Wellen II. Ordnung reihen wir nicht nur die Schwankungen des Gesamtvolumens mit gut ausmeßbarer Amplitude ein, sondern auch alle deutlich erkennbaren und atmungssynchron erfolgenden Größenänderungen der Pulsamplitude, bei denen das Totalvolumen als Mittelwert der Wellen I. Ordnung annähernd auf gleichem Niveau bleibt. Wir finden dann in 85% aller Versuche Wellen II. Ordnung an Hand und Fuß konstant während der ganzen Versuchsdauer. In den übrigen Versuchen fehlen die Wellen stellenweise in der Hand- und Fußkurve. Auftreten und Verschwinden der Wellen erfolgen aber gleichzeitig an Hand und Fuß, immer in deutlicher Abhängigkeit von der Atmungsintensität (s. Hyperventilationseffekt in Abb. 6 und 8).

2. Auch bezüglich der Ausprägung der Wellen II. Ordnung verhalten sich zusammengehörende Hand- und Fußkurven wesentlich gleich. Gut ausgeprägten Wellen II. Ordnung an der Hand entsprechen gleichzeitig auch solche am Fuß und umgekehrt (s. Abb. 2 und 3). Eine gut meßbare Amplitude der Wellen II. Ordnung an Hand und Fuß findet sich in ca. $^3/_4$ der Fälle. In mm Niveauverschiebung gemessen betragen die kleinsten und größten gefundenen Werte an der Hand 0,5 bzw. 8,0, am Fuß 1,0 bzw. 4,0. Die Mittelwerte aus allen gemessenen Amplituden ergeben 4 mm für die Hand und 2 mm für den Fuß als durchschnittliche Amplitudengröße.

Aus diesen Versuchsresultaten ergeben sich drei charakteristische Erscheinungen:

1. Das fast regelmäßige Vorhandensein von Wellen II. Ordnung.

2. Das qualitativ gleichsinnige Verhalten von Hand und Fuß im Rahmen der respiratorischen Volumschwankungen.
3. Die verschiedene Amplitudengröße der Wellen II. Ordnung an Hand und Fuß.

Die Analyse der kausalen Faktoren muß diesen Feststellungen Rechnung tragen. Im Vordergrund der Ursachenreihe der respiratorischen Volumschwankungen steht unbedingt der mechanisch-hämodynamische Effekt der Atmung. Das im Verlauf der Inspiration zunehmende Blutangebot an das rechte Herz führt zur Vergrößerung des Schlagvolumens, wodurch Blutdruck und Pulsvolumen als Teilfunktionen desselben eine Steigerung erfahren. *Herbst* (15) fand am Menschen schon bei Ruheatmung synchron mit geringen Schwankungen des Blutdruckes Unterschiede im Schlagvolumen der einzelnen Atemphasen bis zu 15 ccm. Für die Passage des kleinen Kreislaufes ist allerdings soviel Zeit erforderlich, daß erst während der Exspirationsphase die Pulsvolumvergrößerung in der Peripherie zur Geltung kommt. Das Vorhandensein aktiv-nervöser Tonusänderungen im Sinne echter TH-Wellen kann hinter dem dominierenden Einfluß dieser hämodynamischen Vorgänge nur vermutet werden. Es ist dabei zu beachten, daß die reinen TH-Wellen des Blutdruckes sich bezüglich der Atemphasen umgekehrt verhalten wie die am Mensch zu beobachtenden hämodynamisch bedingten Schwankungen (*Tigerstedt* [9]). Die Angabe von *Hauss* (11), daß trotz Histaminiontophorese die respiratorischen Schwankungen im Plethysmogramm im vollen Umfang bestehen bleiben, und eine gleichartige Feststellung von *Martin* u. Mitarb. (13) nach totaler Entnervung einer Extremität können daher nicht als stichhaltiger Beweis gegen die Existenz echter TH-Wellen gelten. Umgekehrt ist die Angabe *Webers* (16), daß nach plötzlich ausgesetzter oder künstlich unterbrochener Atmung trotzdem oft mit der Respiration zusammenhängende Volumschwankungen erscheinen, kein Beweis für die Existenz von TH-Wellen. Eine solche Feststellung könnte bestenfalls als Argument eines von der Atmung unabhängigen Eigenrhythmus des Vasomotorenzentrums dienen (*Wagner* [17]). Bei willkürlichem Atemstillstand setzte aber in allen unseren Versuchen das respiratorische Wellenspiel der Volumkurve prompt aus, was auch von definitionsgerechten TH-Wellen zu erwarten wäre.

Das fast regelmäßige Auftreten der Wellen II. Ordnung in unseren Plethysmogrammen kann hinreichend erklärt werden durch die auch bei Ruheatmung ständig sich auswirkenden intrathorakalen Druck- und Sogkräfte. Sollten diese bei oberflächlicher Atmung zu klein sein, um in der Peripherie noch wirksam in Erscheinung zu treten, so ist es a priori möglich, daß die zentral ausgelösten Schwankungen des Vasomotorentonus dennoch weiterhin Wellen II. Ordnung erzeugen, so daß also praktisch in fast jedem Falle atmungssynchrone Schwankungen der Blutfülle registrierbar bleiben. Ob dieser Faktor tatsächlich am Zustandekommen der Wellen II. Ordnung beteiligt

ist, läßt sich aus dem normalen Plethysmogramm aber nicht beweisen. Die hämodynamischen Auswirkungen der Atmung auf das venöse System sind für den Verlauf der respiratorischen Wellen von zweitrangiger Bedeutung. Trotz des verschiedenen Einflusses der Atmung auf die Rückströmung des venösen Blutes in der oberen und unteren Extremität nimmt das Volumen der Hand und des Fußes immer gleichzeitig zu und ab. Daß dieser Faktor aber dennoch gestaltend und zwar zugunsten der Hand eingreift, zeigt die regelmäßig verschiedene Amplitudengröße an Hand und Fuß, wofür das verschiedene Ausmaß der respiratorischen Venendruckschwankungen maßgebend veranwortlich ist.

Die plethysmographischen Wellen II. Ordnung inklusive die atmungssynchronen Schwankungen des Volumpulses sind also der Hauptsache nach Ausdruck der im Rhythmus der Atmung wechselnden Schlagvolumgröße des Herzens. Sie werden an der Hand durch den venös-hämodynamischen Effekt der Atmung verstärkt, am Fuß eher abgeschwächt.

c) Wellen III. Ordnung

Die im Schrifttum oft nach ihrem Entdecker als *Sigmund Mayer*sche Wellen bezeichneten Schwankungen des Blutdruckes haben auch in den Volumkurven ein Analogon. Obschon generell die Volumänderungen kein einfaches Abbild der Blutdruckwellen sind, weist doch die Ähnlichkeit bezüglich Frequenz und Form derWellen III. Ordnung auf gemeinsame kausale Faktoren. Die Deutung und Erklärung derselben ist aber ebenso umstritten wie bei den Wellen II. Ordnung. Zur Abklärung steht vor allem die Frage, ob zentral-vasomotorische Impulse oder peripher-autonome Tonusschwankungen der Gefäße den Wellen III. Ordnung zu Grunde liegen. Anhaltspunkte sowohl für die eine als auch für die andere dieser Ansichten gibt es mehrere. Indessen ist die Frage, «inwieweit vasomotorische Impulse und autochthone Gefäßschwankungen die Wellen III. und IV. Ordnung beeinflussen, nicht eindeutig entschieden» (*Rothlin* und *Bluntschli*). Auch die neuartige Stellungnahme *Wagners* und seiner Mitarbeiter (17), welche ihre Anschauungen auf die Ergebnisse fortlaufender Blutdruckmessungen am Menschen basieren, befriedigt nicht in allen Teilen.

A priori ist anzunehmen, daß die *gleichzeitige Untersuchung von weit auseinanderliegenden Kreislaufsektoren* wesentlich darüber Auskunft geben kann, ob vorwiegend periphere oder zentrale Einflüsse an der Entstehung von Wellen III. Ordnung beteiligt sind. Die Auswertung unserer Volumkurven in dieser Hinsicht ergibt eindeutige Resultate: *Sowohl bezüglich Frequenz als auch Form- und Größenänderung der Wellen zeigen Hand- und Fußkurven eine bemerkenswerte Parallelität*, wie es die Abb. 4, 5 und 6 zeigen, und wie es auch aus den Beispielen der Durchschnitts- und Einzelwerte der Tabellen 1 und 2 hervorgeht. In Tab. 1 sind die Frequenz- und Amplituden-Durchschnittswerte der Wellen III. Ordnung jener Vp. angegeben, bei denen

mehrfache Versuche ausgeführt wurden. Es zeigt sich, daß die individuellen Unterschiede Hand und Fuß stets in gleicher Weise betreffen. Tab. 2 zeigt, daß auch in den Einzelergebnissen wiederholter Versuche an der gleichen Vp die Unterschiede an Hand und Fuß stets gleichsinnig ausgeprägt sind.

Tabelle 1

Vp	Anzahl Versuche	Frequenz pro Minute		Amplitude in mm	
		Hand	Fuß	Hand	Fuß
C ♂	5	2,7	2,5	14,7	11,6
Be ♂	4	3,5	3,5	11,5	9,8
H ♂	6	3,5	3,3	12,3	11,0
M ♂	3	3,7	3,2	12,3	8,0
Bd ♂	3	2,8	2,8	9,8	5,8
Bie ♂	5	5,7	5,4	9,2	6,0
Bo ♀	6	3,4	3,2	7,6	5,3

Tabelle 2

Frequenz pro Minute		Amplitude in mm	
Hand	Fuß	Hand	Fuß
3—4	3—4	16	15
3—4	3—4	11	11
2—3	2—3	15	13
3—4	3—4	8	7,5
3—4	3—4	14	11
2—3	2—3	10	9

1. *Frequenz:* Es wurden die pro Minute auftretenden Wellen III. Ordnung bestimmt, und zwar zu Beginn und Ende des Versuches wie auch während mehreren Minuten im Verlauf desselben. Größter und kleinster Minutenwert jeder Vp wurden, getrennt für Hand und Fuß, tabellarisch zusammengestellt. Aus der mittleren Frequenz jeder Kurve wurde für sämtliche Versuche der Durchschnitt berechnet. Meist schwankt die Frequenz bei jeder Vp um 1–2 Wellen pro Minute im Verlauf eines länger dauernden Versuches, wobei aber die Zu- und Abnahme stets gleichzeitig an Hand und Fuß erfolgt. Da die Amplitude der Wellen am Fuß in der Regel aber kleiner ist, kommt es vor, daß bei Vp mit nur schwach ausgeprägten Wellen III. Ordnung eine kleinste Welle an der Hand noch nachweisbar ist, während sie am Fuße fehlt. Ausnahmsweise kann auch das Umgekehrte der Fall sein (s. Abb. 8). Alle gefundenen Frequenzwerte reihen sich zwischen 2 und 5 pro Minute ein, bis auf einen Fall, wo an Hand und Fuß eine zwischen 6 bis 8 schwankende Frequenz bestand. Als durchschnittlicher Wert aus allen Versuchen ergibt sich in auffallender Übereinstimmung mit der Angabe von *Rothlin* und *Bluntschli* (1) eine Minutenfrequenz von 3,5 für die Hand bzw. 3,4 für den Fuß, d. h. 3–4 Wellen pro Minute.

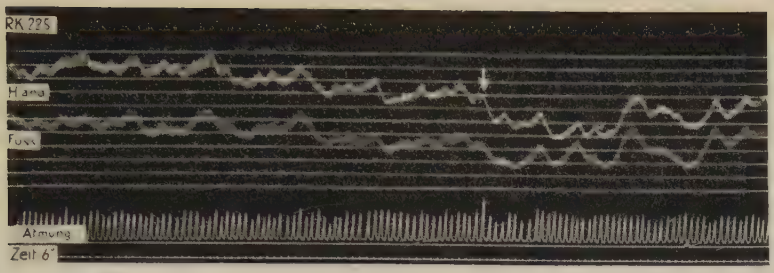


Abb. 4. 20jähr. ♂ Vp. Normale Plethysmogramme von Hand und Fuß mit deutlich parallelem Verlauf. Die Pulsamplituden sind an Hand und Fuß annähernd gleich groß, stellenweise sogar größer am Fuß. Bezogen auf das Volumen von Hand und Fuß überwiegen aber durchgehend die Schwankungen der Hand. Der Volumabfall an der mit Pfeil bezeichneten Stelle ist die Folge spontan vertiefter Inspiration (unwillkürlicher Inspirationseffekt).

2. *Amplitude:* Die Größe der Wellen III. Ordnung wechselt bei jeder Vp, wobei in vielen Versuchen die Extremwerte der Amplituden ziemlich weit auseinander liegen. Diese Eigenschaft kann als charakteristisch gelten und kommt bei Vp mit allgemein stark ausgeprägtem Wellenbild (sog. unruhiges Plethysmogramm) deutlicher zum Ausdruck, wobei aber immer *Hand- und Fußkurve betonte Kongruenz auch in diesem Verhalten aufweisen.* Meist sind allerdings die in mm gemessenen Werte der Amplitude am Fuß etwas kleiner als die entsprechenden an der Hand. Es ist dies aber eine allgemein in Erscheinung tretende Tatsache, die uns schon bei den Wellen I. und II. Ordnung begegnet ist und auch im reaktiven Verhalten der Hand- und Fußvolumkurve auf äußere Einwirkungen beobachtet wird. Selbst dort, wo die relativen Werte des Volumschreibers für Hand und Fuß sich angleichen bzw. am Fuß größer sind, sinken die auf reelle Volumgröße reduzierten Werte der Volumschwankungen des Fußes beträchtlich unter jene der Hand. Diese

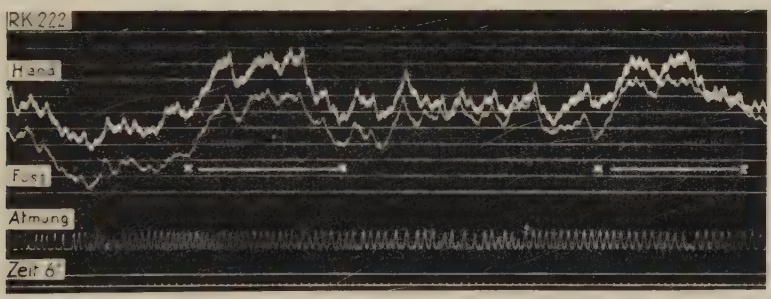


Abb. 5. 25jähr. ♂ Vp. Normales Hand/Fuß-Plethysmogramm mit übereinstimmenden Wellen I.—IV. Ordnung an Hand und Fuß. Die Pulsamplitude ist durchgehend größer an der Hand als am Fuß. Den beiden markierten Wellen IV. Ordnung (X——X) sind Wellen III. Ordnung superponiert, denen hinwieder deutlich erkennbare atmungssynchrone Schwankungen aufgesetzt sind.

quantitativen, mit der Durchblutungsgröße in Zusammenhang stehenden Unterschiede von Hand und Fuß lassen aber das qualitative Verhalten beider Kreislaufgebiete unberührt. Einer Welle mit großer Amplitude an der Hand entspricht stets eine solche am Fuß, und durchschnittlich kleine bzw. große Amplitudenwerte finden sich immer gleichzeitig in den Kurvenpaaren (s. Abb. 4, 5 und 6).

Die Extremwerte der Amplituden aus allen Versuchen betragen 2 und 30 mm für die Hand bzw. 1 und 32 mm für den Fuß. Als mittlerer Durchschnitt errechnet sich für die Hand eine Wellengröße von 10,8 mm, für den Fuß eine solche von 9,0 mm Amplitude, entsprechend 0,13% Hand- bzw. 0,03% Fußvolumen.

3. *Form:* Die Wellen III. Ordnung treten im Verlauf eines jeden Versuches in verschiedenen Formvariationen auf. Eine vergleichende Untersuchung von Hand und Fuß in dieser Hinsicht kann nicht zahlenmäßig erfaßt werden, und jeder Versuch einer Systematisierung (Erstellung eines Typenschemas usw.) wäre zu sehr vom subjektiven Urteil des jeweiligen Beschauers abhängig. Oft besteht eine Übereinstimmung der Wellenform bis in kleinste Einzelheiten (s. Abb. 6), in anderen Fällen zeigen sich aber deutliche Unterschiede, trotzdem Frequenz und relatives Ausmaß der in Frage stehenden Schwankungen an Hand und Fuß dabei gleich sind. Viele Differenzen kommen so zustande, daß das Verhältnis Amplitude : Wellenlänge verschieden ist, so daß einer steil geformten Wellenspitze an der Hand ein mehr kuppelförmiger Wellenberg am Fuße entspricht. Seltener ist das Umgekehrte der Fall. Bei einzelnen Vp kommt es vor, daß vor allem der absteigende Schenkel bei den Wellen der Handkurven einen ausgesprochen steilen Verlauf nimmt, während am Fuß ein besser symmetrierter Wellentypus vorherrscht. Es darf auch in dieser Fragestellung die Bedeutung des Gefäßtonus im arteriellen und venösen System nicht außer Acht gelassen werden. Besonders die mit der Atmung in Zusammenhang stehenden verschiedenen Abflußbedingungen greifen sicherlich auch in die definitive Gestaltung dieser Volumschwankungen ein.

Für das Gesamtbild, das sich aus der vergleichenden Untersuchung der Wellen III. Ordnung an Hand und Fuß ergibt, kann eine befriedigende Erklärung nur gefunden werden in der *Annahme vasomotorischer Tonusschwankungen zentralen Ursprungs als Hauptursache.* Periphere Einflüsse verschiedener Art ebenso wie tonisch-rhythmische Eigenschwankungen der Gefäßwandspannung können wohl Ausmaß und Form der Erscheinung modifizieren, nicht aber ihr wesentliches Merkmal, nämlich das gleichartige und gleichzeitige Auftreten an verschiedenen Kreislaufabschnitten begründen.

Die rhythmischen Tonusschwankungen nervös isolierter Arterien und überlebender Arterienringe oder -Streifen sind von *Rothlin* (18) u. a. eingehend untersucht worden. Wenn auch ihre Periodizität eine gewisse Analogie mit den Wellen III. Ordnung aufweist, so läßt es doch die bis auf Ein-

zelheiten sich erstreckende Übereinstimmung der letzteren an Hand und Fuß nicht zu, die beiden Phänomene zu identifizieren. Abgesehen davon, daß die arteriellen Tonusschwankungen in vitro meist erst als Reizeffekt in Erscheinung treten und an sich weit weniger regelmäßig sind als die Wellen III. Ordnung, müßte außerdem postuliert werden, daß sie an Arterien aus verschiedenen Kreislaufgebieten gleichzeitig und in qualitativ und quantitativ übereinstimmendem Ausmaße auftreten. In Doppelversuchen hat zwar *Bürgi* (19) relativ häufig gleichartige Reaktionen zweier Arterien nach Zufuhr kontraktionsfördernder oder erschlaffend wirkender Substanzen festgestellt, wobei aber ausschließlich Mesenterialarterien untersucht wurden. Eine Auswirkung der Tonusveränderungen eines abgegrenzten Gefäßgebietes auf den gesamten Kreislauf fällt noch weniger in Betracht, da die erforderlichen Kräfte hiezu bedeutend größer sein müßten, als es dem durchschnittlichen Verkürzungsgrad (10%) isolierter Arterienstreifen entspricht (*Rothlin* [18], *Günther* [20]). Nach *Bürgi* (19) kommen als eventuelles Korrelat für die Wellen III. Ordnung ohnehin nur die sog. «kleinen Arterienrhythmen» in Frage, wogegen dieser letztere Grund noch in vermehrtem Maße gilt. Es sei in diesem Zusammenhang auch erwähnt, daß *Foà* (21), der zwar die Wellen III. Ordnung als selbständige Bewegungen der Gefäße betrachtet, beim Spinaltier nie Wellen III. Ordnung festgestellt hat.

Ein wirksamer Anteil an der Blutbeförderung kann den arteriellen Tonusschwankungen nicht zugesprochen werden (*Hess* [22], *Rothlin* [18], *Fleisch* [23] u. a.). Aus den dargelegten Gründen ist aber ebenfalls ihre kausale Bedeutung für die als Wellen III. Ordnung bezeichneten Druck- und Volumschwankungen auszuschließen. Will man in zweckgerichteter Betrachtungsweise diesen Gefäßschwankungen eine Bedeutung beimessen, so kann sie bestenfalls auf dem Gebiete peripherer Regulationsmechanismen der Blutverteilung gesucht werden. Eine dahingehende Auffassung hat kürzlich *Bürgi* ausgesprochen. Per exclusionem und mit anderer Methode ergibt sich uns eine ähnliche Bewertung, wobei aber betont sein möge, daß unsere Versuchsresultate ebensowenig wie diejenigen *Bürgis* für die Richtigkeit einer solchen Hypothese direkte Beweise liefern. Unter den Bedingungen, wie sie bei Ausführung plethysmographischer Untersuchungen herrschen (ruhende Vp, Temperaturkonstanz usw.). wird die lokale Kreislaufregulation nicht oder nur in kleinstem Maße beansprucht, so daß der zentral gesteuerte Rhythmus der Wellen III. Ordnung ungehindert und fast ohne periphere Modifikation ablaufen kann, wie es die gleichzeitig registrierten Hand- und Fußplethysmogramme eindrücklich darlegen. Die Bedeutung dieser zentralen Vasomotorenrhythmen ergibt sich aus folgender Überlegung: Im «unbelasteten» Zustand sendet das Vasomotorenzentrum rhythmische konstriktorische und dilatatorische Impulse aus, welche die Wellen III. Ordnung bedingen und mit diesen als Ausdruck der ständigen Reaktionsbereitschaft des Zentrums gelten können. Stärkere Belastung löscht diese Im-

pulsschwankungen aus zugunsten einer einseitigen Tonusverschiebung des Zentrums in konstriktorischer oder dilatatorischer Richtung. Dementsprechend sind die Wellen III. Ordnung optimal bei indifferent empfundenen Temperaturen der Haut (30–32 Grad) ausgeprägt, während sie bei erhöhter oder erniedrigter Temperatur schwächer werden und schließlich ganz verschwinden (*Wright* und *Phelps* [24], *Abramson* und Mitarb. [5], *Wilkins*, *Doupe* und *Newman* [25]). Das Bild des «ruhigen» bzw. «unruhigen» Plethys-

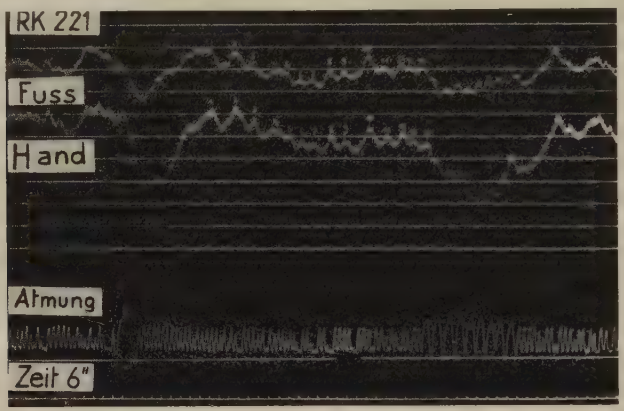


Abb. 6. 25jähr. ♂ Vp. Wellen III. Ordnung (1—14) zwischen einem Inspirations- und einem Hyperventilationseffekt. Ausgesprochene Parallelität auch kleinster Schwankungen an Hand und Fuß. Wie die Amplitudengröße der verschiedenen Wellen sind auch die respiratorischen Effekte stärker an der Hand ausgeprägt. Qualitativ ist die Reaktion an Hand und Fuß aber gleich.

mogrammes ist vor allem durch die vasomotorischen Wellen bedingt. Unter Berücksichtigung der engen Beziehungen zwischen Psyche und Vasomotorik ist es daher begründet, das jeweilige Plethysmogramm als «Ausdruck der psychischen Erregbarkeit» aufzufassen (*Rothlin* und *Bluntschli*). Während in «ruhigen» Plethysmogrammen reaktive Veränderungen nur schwach zum Ausdruck kommen, zeigen Probanden mit stark ausgeprägten Wellen III. Ordnung stets auch intensive plethysmographische Reaktionen auf verschiedenste Reize. Zwischen dieser noch im physiologischen Maße erhöhten vasomotorischen Reaktionsbereitschaft und der *Hochrein*schen «neurozirkulatorischen Dystonie» (26), deren erstes Stadium vor allem durch sog. überschießende plethysmographische Reaktionen auf Temperaturreize charakterisiert ist, sind die Übergänge fließend. Zusammenfassend können wir also sagen: *Die Wellen III. Ordnung sind unmittelbarer Ausdruck der Reagibilität des Vasomotorenzentrums;* über den Weg der Vasomotorik geben sie aber auch ein mittelbares Bild der jeweiligen psychischen Erregbarkeit.

d) Wellen IV. Ordnung

Wellen höherer Ordnung sind nur bei langsamer Registrierung gut erfaßbar, so daß eine Beurteilung nicht in allen unseren Versuchen möglich ist. Auch in diesen sich über größere Zeitabschnitte erstreckenden Volumschwankungen verhalten sich Hand- und Fußkurve gleichsinnig (s. Abb. 5). Im Mittel schwankt die Dauer dieser Wellenabläufe in unseren Versuchen zwischen 96 und 165 Sekunden. Diese Feststellung steht ebenfalls in Übereinstimmung mit den Angaben von *Rothlin* und *Bluntschli* (1) und bestätigt die Berechtigung der Unterscheidung von Wellen III. und IV. Ordnung. Während für diese Zweiteilung somit genügend formale Kriterien bestehen (Frequenz, Amplitude, Form), so müssen in kausaler Hinsicht doch beide Wellenordnungen zusammengefaßt werden als Ausdruck tonischer Impulsschwankungen des Vasomotorenzentrums. Die Begründung hiefür ergibt sich aus dem über die Wellen III. Ordnung Gesagten. *Den herz- bzw. atmungssynchronen Wellen I. und II. Ordnung gegenüber sind die Wellen III. und IV. Ordnung daher als zwei Unterordnungen einer dritten kausalen Entität, nämlich der vasomotorischen Wellen, aufzufassen.*

2. Wirkung respiratorischer Reize

a) Die einmalige tiefe Inspiration

Als Reaktion auf eine forciert-tiefe Einatmung wurde von verschiedenen Untersuchern und auch von *Rothlin* und *Bluntschli* (1) ein charakteristischer, mehr oder weniger großer Volumabfall beschrieben. *Lieb, Mulinos* und *Taylor* (27) haben diesem Phänomen sogar eine eigene Studie gewidmet. Sie fanden eine durchschnittliche Abnahme des Vorderarmvolumens um 5 bis 10 ccm, die am Ende der Einatmung beginnt und verschieden lange andauert. Wir haben diesen «Inspirationseffekt» (*Rothlin* und *Bluntschli*) vergleichend an Hand und Fuß in 35 Fällen untersucht und dabei jedesmal den maximalen Niveauabfall in mm ausgemessen, sowie die Gesamtdauer der Wirkung bestimmt, d. h. die Zeit, die vergeht, bis das vor der tiefen Inspiration bestehende Volumen wieder erreicht ist. Die Resultate sind in Tab. 3 zusammengestellt. Übereinstimmend in allen Versuchen ist das absolut gleiche Verhalten von Hand- und Fußkurve in qualitativer Hinsicht (s. Abb. 6 und 7). Es findet sich nie ein Inspirationseffekt nur in einer Kurve allein. Ebenso stimmt der zeitliche Beginn der Reaktion an Hand und Fuß immer überein, wie auch das typische Bild des relativ raschen Abfalles und der langsameren sich anschließenden Erholungsphase. Im Ausmaß und in der Dauer der Reaktion bestehen oft beträchtliche Unterschiede an Hand und Fuß, wobei bis auf eine Ausnahme der Niveauabfall der Hand jenen des Fußes stark überwiegt. Bestimmt man diesbezüglich den Quotienten Hand : Fuß, so findet man von 35 Fällen 32mal Werte über 1 (1,03–3,8), in 2 Fällen 1,0 und nur in einem Fall 0,7. Bezogen auf Prozente des Hand- bzw. des Fuß-

volumens überwiegt natürlich in allen Fällen die Reaktion der Hand. Daß aber Hand und Fuß sich auch bezüglich ihrer quantitativen Relation gleichsinnig verändern, geht daraus hervor, daß z. B. in 9 Versuchen an der gleichen Vp der Quotient Hand : Fuß nur zwischen 2,5 und 3,8 variiert, während der Niveauabfall an der Hand von 19 bis 67 mm schwankt. Kleinster und größter Inspirationseffekt an der Hand betragen 15 und 71 mm, am Fuß 5 und 36 mm. Der Durchschnittswert aus allen 35 Versuchen berechnet sich zu 40,5 mm Niveauabfall an der Hand bzw. 18,7 mm am Fuß, entsprechend 0,48 % Hand- und 0,07% Fußvolumen.

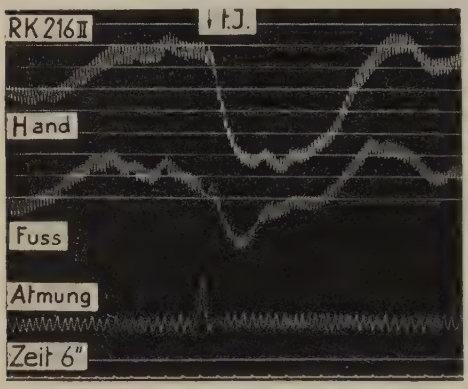


Abb. 7. 16jähr. ♂ Vp. Ausschnitt aus einem «ruhigen» Plethysmogramm mit wenig Wellen III. Ordnung. Beispiel eines Inspirationseffektes: Auf die tiefe Inspiration (tI) erfolgt an Hand und Fuß eine Volumabnahme, die an der Hand bedeutend stärker ausfällt. Entsprechend ist auch die Gesamtdauer des Effektes bis zum Erreichen der ursprünglichen Niveauanlage größer an der Hand als am Fuß.

Die Dauer des Effektes ist erwartungsgemäß meist kürzer am Fuß. Die Unterschiede sind aber kleiner als bezüglich des Niveauabfalles. In 5 Fällen verhält sich das zeitliche Ausmaß der Reaktion an Hand und Fuß genau gleich; in 1 Fall ist sogar der für den Fuß gefundene Wert um einige Sekunden größer. Als mittlere Dauer wurden bestimmt: 64 Sek. für die Hand und 41 Sek. für den Fuß.

Lieb und Mitarb. (16) erklären den plethysmographischen Inspirationseffekt als vasomotorischen Reflex, ohne über den Reizursprung desselben etwas auszusagen. Die Vasokonstriktion soll eine Behinderung der Blutströmung in den arteriellen Präkapillaren zur Folge haben, während der venöse Abfluß gefördert werde. Kapillarmikroskopische Befunde bestärken diese Ansicht, vor allem das Auftreten einer Vorwärtsbewegung nach tiefer Inspiration in Kapillaren, die sonst infolge gedrosselter Zirkulation Blutstagnation aufweisen. Bei gleichzeitiger Registrierung von Plethysmogramm und Venendruck fehlt nach *Gross* und *Matthes* (17) eine dem Volumabfall adäquate Drucksenkung, so daß eine rein hämodynamische Erklärung des Inspirationseffektes nicht genügt. Da die Autoren im Plethysmogramm des Ohres keine analoge Wirkung finden, nehmen sie einen lokalen vasokonstriktorischen Reflex als Ursache für den Volumabfall am Finger an.

Auch unsere Feststellungen sprechen für das Vorliegen eines durch die

Tabelle 3. *Inspirationseffekte*

(Volumabfall an Hand und Fuß nach einer tiefen Inspiration)

Versuchsperson	Volumabfall in cm			Dauer in Sekunden	
	Hand	Fuß	Quotient Hand : Fuß	Hand	Fuß
H	4,6	1,6	2,87	84	48
	6,7	2,0	3,35	112	62
	4,4	1,5	2,93	54	25
	3,1	2,3	1,34	60	30
	2,6	2,0	1,30	66	30
	3,8	3,2	1,18	110	112
	6,2	2,2	2,81	50	30
	5,1	2,0	2,55	40	26
	1,9	0,5	3,80	36	17
	3,4	0,9	3,77	40	17
	6,1	2,2	2,77	70	32
	3,5	1,4	2,50	38	25
	1,5	2,0	0,75	35	32
	6,0	3,2	1,87	112	48
	1,8	0,9	2,00	28	14
	2,3	1,3	1,76	48	46
C	2,0	0,7	2,85	22	18
	7,1	2,4	2,95	118	64
	2,3	2,3	1,00	25	25
	3,0	2,5	1,20	85	85
	2,4	1,5	1,60	32	20
	1,5	1,5	1,00	32	32
	2,9	2,8	1,03	24	20
Be	5,0	2,4	2,08	66	51
	5,5	3,0	1,83	56	32
	6,0	1,7	3,52	70	70
Bd	5,4	1,5	3,60	80	36
	6,7	3,6	1,86	90	54
	6,0	2,4	2,50	96	96
M	2,0	1,4	1,42	48	27
	4,0	1,2	3,33	92	48
Co	4,8	1,9	2,52	168	102
W	3,7	1,2	3,08	75	27

tiefe Inspiration ausgelösten Reflexmechanismus. Das gleichartige Verhalten von Hand und Fuß läßt aber eher an ein höher geordnetes Reflexzentrum denken, und man kann dabei die Vermutung nicht von der Hand weisen, daß der starke inspiratorische Impuls des Atemzentrums über die Brücke

der «gemeinsamen Stammasse» (*Hess*) sich auch im Vasomotorenzentrum auswirkt. Die festgestellten Unterschiede quantitativer Art an Hand und Fuß sind hauptsächlich hämodynamisch bedingt und erklären sich aus der längeren venösen Strecke Fuß-Herz sowie aus der inversen Druckwirkung, welche eine Inspirationsbewegung auf die Hohlgefäße in Thorax und Abdomen ausübt.

b) Willkürlicher Atemstillstand

In 15 Versuchen wurde die Wirkung eines 30 Sek. dauernden, in mittlerer Inspirationsstellung ausgeführten Atemstillstandes geprüft. Es ergab sich in allen Fällen ein verschieden rasch erfolgendes Absinken des Hand- und Fußvolumens während der Dauer des Atemunterbruches (s. Abb. 8). Die Unterschiede bei quantitativer Auswertung der Hand- und Fußkurven erweisen sich hier bedeutend kleiner als bei Prüfung des Inspirationseffektes. Im Mittel sank das Niveau des Volumschreibers der Hand um 32, das des Fußes um 28 mm, entsprechend 0,37% Hand- bzw. 0,11% Fußvolumen. Auch in der Dauer des Effektes bis zur Erreichung der Ausgangslage sind die Unterschiede klein: 75 Sek. für die Hand bzw. 73 Sek. für den Fuß.

Durch den Ausfall aller kreislaufföndernden Faktoren der Atmung erfährt die allgemeine Zirkulationsgröße eine Herabsetzung, die sich gleichermaßen am Volumen der Hand und des Fußes manifestiert. Dieser Auffassung entspricht auch das Kleinerwerden der Pulsschwankungen als Ausdruck des verminderten Schlagvolumens.

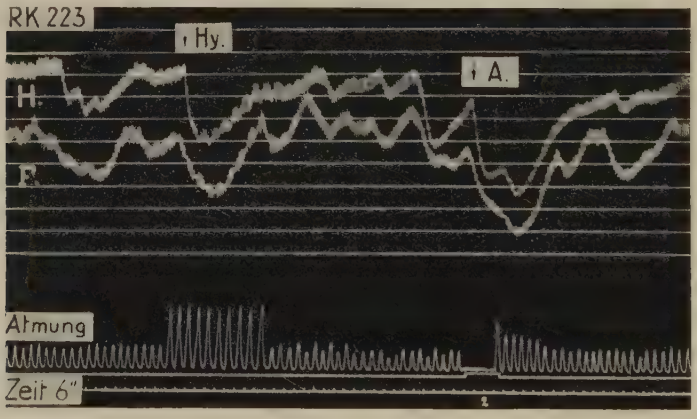


Abb. 8. 20jähr. ♂ Vp. Wirkung der Hyperventilation (Hy) und des Atemstillstandes (A) auf das Volumen von Hand und Fuß. Während der verstärkten Atmung treten die Wellen II. Ordnung in beiden Kurven besonders stark in Erscheinung. In der Erholungsphase nach dem Atemstillstand sind mehrere Wellen III. Ordnung am Fuß stärker ausgeprägt als an der Hand und ausnahmsweise tritt eine Welle III. Ordnung, ohne entsprechendes Korrelat an der Hand, nur in der Fußkurve auf.

c) Willkürliche Hyperventilation

Läßt man die Vp während 30 Sek. verstärkt atmen, so äußert sich dies ebenfalls in einem Abfall der Volumkurve (s. Abb. 6 und 8). Das Pulsvolumen erfährt meist starke Schwankungen im Rhythmus der Atemzüge, und die Wellen II. Ordnung werden besonders deutlich. Die Volumabnahme ist in den meisten Fällen geringer als nach einer einmaligen tiefen Inspiration, so daß wir es nicht mit einer Summationswirkung mehrerer Inspirationseffekte zu tun haben. Neben den primär wirkenden Faktoren: vasokonstriktorischer Inspirationseffekt und geförderter venöser Abstrom, macht sich bald der Einfluß der durch die intensive Atmung erhöhten allgemeinen Zirkulationsquote geltend. Der Volumabfall erreicht dementsprechend sein Maximum oft schon nach 10 bis 15 Sek., um noch während der fortgesetzten Hyperventilation durch einen Anstieg ganz oder teilweise kompensiert zu werden. Im Durchschnitt beträgt die durch Hyperventilation erzeugte Volumabnahme an Hand und Fuß 37 bzw. 20 mm Niveauverschiebung oder 0,43% Hand- bzw. 0,08% Fußvolumen, während die Gesamtdauer des Effektes 68 bzw. 58 Sek. für Hand und Fuß ergibt.

d) Der Valsalva-Versuch

Der Valsalva-Versuch ist als Kreislaufbelastungsprobe vor allem im Anschluß an die Arbeiten *Buergers* eingehend untersucht worden. Eine richtige Beurteilung dieses Effektes setzt voraus, daß man Dauer und Höhe des Preßdruckes dosieren kann. Zu diesem Zwecke wurde die Vp angewiesen, nach einer tiefen Inspiration kräftig gegen ein Quecksilber-Manometer zu exspirieren und die Hg-Säule durch den Exspirationsdruck während bestimmter Zeit auf bestimmter Höhe zu halten. Untersucht wurde der Valsalva-Effekt bei einem Preßdruck von 20, 30 und 40 mm Hg, wobei jeweils Preßzeiten von 10, 20 und 30 Sek. eingehalten wurden. Bezüglich der Wirkung des Preßdruckes auf das plethysmographische Verhalten hebt *Hauss* (8) vor allem die Steigerung der Blutfülle in den Extremitäten hervor. Trotzdem wir vorläufig nur wenige Versuche in dieser Beziehung beurteilen können, sprechen doch alle Beobachtungen gegen das alleinige Vorhandensein eines einfachen volumsteigernden Effektes der Valsalvaschen Probe. Vor allem besteht diesbezüglich ein wichtiger Unterschied zwischen Hand und Fuß. Zweifelsohne bildet sich während des Preßdruckes sowohl an der oberen als auch an der unteren Extremität eine auch subjektiv wahrnehmbare venöse Stauung aus. Der am Ende des Versuches in jedem Fall eintretende steile Volumabfall beweist das deutlich (s. Abb. 9). Die Umsetzung dieser Stauung in eine Volumsteigerung wird aber je nach Exspirationsdruck hintan gehalten durch den im Verhältnis noch stärker gehemmten arteriellen Zufluß, was in der stetig zunehmenden Verkleinerung der Pulsvolumschwankungen zu beobachten ist. Diese beiden Faktoren, die venöse Stau-

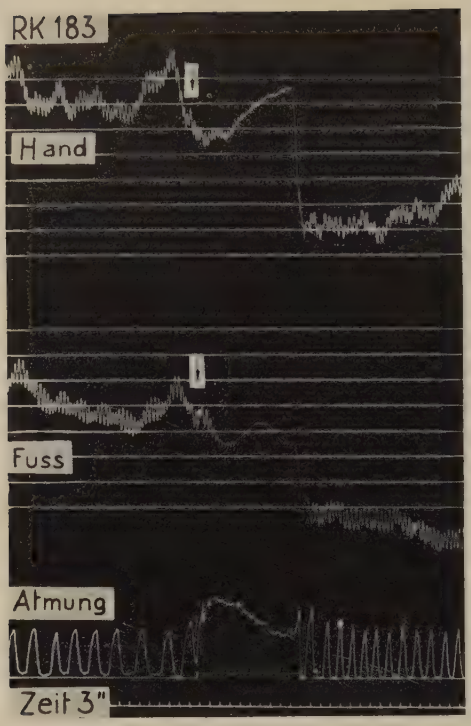


Abb. 9. 26jähr. ♂ Vp. Valsalva-Versuch mit 40 mm Hg Preßdruck während 30 Sek. Die Hand zeigt nach primärer geringer Volumabnahme einen stärkeren sekundären Anstieg. Am Fuß nimmt das Volumen sekundär nur vorübergehend zu, ohne die Größe zu Beginn des Valsalva zu erreichen. In beiden Kurven zeigen die Pulsschwankungen mit Zunahme der Preßdauer kleiner werdende Amplituden, so daß der periphere Puls fast verschwindet. Der steile Volumabfall am Ende des Versuches manifestiert die während des Valsalva ausgebildete venöse Stauung, die trotz abnehmendem Volumen auch am Fuß besteht.

ung infolge gehemmten Zustromes zum Herzen und die verminderte arterielle Zufuhr infolge Reduktion des Herzschlagvolumens, entscheiden je nach ihrer Prävalenz in der Peripherie über das Verhalten des Volumens. Am Fuß macht sich immer die Stauung weniger geltend, so daß in allen Fällen während der Dauer des Pressens das Volumen unter das ursprüngliche Ausmaß sinkt. Bei längerem Pressen kann eine sekundäre Volumzunahme beobachtet werden als Ausdruck der inzwischen erschöpften Ausweichmöglichkeiten für das venöse Blut. An der Hand wirkt sich die Stauung vor allem bei kurzer Preßzeit (10 Sek.) stärker aus, so daß das Volumen in leichtem Umfang zunimmt. Dauert der Valsalva längere Zeit, so folgt auf die primäre geringe Volumsteigerung meist ein Abfall der Kurve, die entsprechenden Werte sind aber immer geringer an der Hand als am Fuß; umgekehrt überwiegt hingegen der am Ende des Versuches eintretende steile Volumabfall immer an der Hand.

Man kann also das Volumverhalten während eines Valsalva-Versuches nicht auf einen einfachen Nenner bringen. Dauer des Versuches und Größe des ausgeübten Preßdruckes müssen in jedem Fall berücksichtigt werden, ebenso wie die je nach topographischer Lage des untersuchten Kreislaufgebietes verschiedene Auswirkungsmöglichkeit der ursächlichen Faktoren.

3. Stau- und Drosselungsversuche

Die Stau- und Drosselungsversuche wurden nach den in der 2. Mitt. (2) beschriebenen methodischen Richtlinien ausgeführt und analysiert. Untersucht wurde die Stauwirkung bei 30, 50 und 70 mm Hg Manschettendruck, wobei immer während 3 Minuten gestaut wurde. Als Druckwerte für die Erzeugung der Drosselung wurden am Arm 180, am Bein 240 mm Hg angewandt. In 17 Versuchen dauerte die Drosselung 3, in 10 Versuchen 5 Minuten.

I. Der Staueffekt (s. Abb. 10)

In der 2. Mitt. (2) wurden die sog. Typen A und B der Staukurven beschrieben und dargelegt, daß der Typus B als methodisch bedingte unechte Modifikation des Staueffektes zu bewerten ist. Die Verteilung unserer 74 Stauversuche auf diese beiden Typen ergibt folgendes Bild:

	Typus A (prompte Reaktion)	*Typus B* (verzögerte Reaktion)	*Total*
Hand . . .	40 (54%)	34 (46%)	74
Fuß . . .	52 (70%)	22 (30%)	74

Es zeigt sich also, daß mehr Staukurven der Hand eine vorbestandene latente Stauung (s. Mitt. 2) manifest werden lassen, als es beim Fuß der Fall ist. Die einwandfreie Abdichtung der Hand im Plethysmographen erweist sich, im Vergleich mit dem Fuß, als schwieriger, wofür besonders anatomische Unterschiede verantwortlich sind (Verlauf der oberflächlichen Venen). Für den näheren qualitativen und quantitativen Vergleich der Stauwirkung werden nur 31 Versuche ausgewertet, in denen Hand und Fuß gleichzeitig den Stautypus A aufweisen.

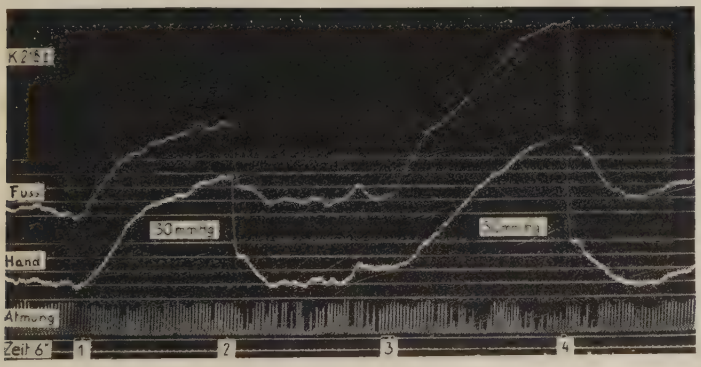


Abb. 10. 20jähr. ♂ Vp. Stauversuche mit 30 und 50 mm Hg Manschettendruck während 3 Min. Ident. Staukurven — Typus A ohne Primäreffekt — an Hand und Fuß.

a) *Qualitative Staureaktion:* Bezüglich des Primäreffektes (PE, s. 2. Mitt.) ergibt sich: In 8 von 31 Stauversuchen zeigen sowohl Hand als auch Fuß einen ausgesprochenen PE. Ein geringer PE an der Hand allein kommt in 2 Fällen, am Fuß allein in 3 Fällen vor. 18 Versuche zeigen weder in der Hand- noch Fußkurve einen PE. Auch der Volumanstieg als Ganzes vollzieht sich immer in auffallender Parallele an Hand und Fuß (s. Abb. 10). Als Ausdruck des jeweiligen tonischen Funktionszustandes der venösen Bahnen zeigt also dieses Verhalten des PE wie des Gesamtanstieges, daß unter konstanten und für Hand und Fuß gleichen peripheren Bedingungen sich nur die zentrale Steuerungskomponente des Venotonus im Stauеffekt geltend macht. Qualitative Unterschiede der Staureaktion von Hand und Fuß bestehen somit bei gesunden jungen Individuen keine. Es ist aber zu erwarten, daß die Untersuchung von Personen mit latenten oder manifesten Schäden der peripheren Zirkulation hierin ganz andere Resultate zeitigt. Auch dürfte es möglich sein, daß der Konstitutionstypus des «Bindegewebsschwächlings» (Typus der «schlaffen Faser») konstante Unterschiede der Staureaktion von Hand und Fuß aufweist, da die peristatischen Bedingungen für das Manifestwerden dieser an sich wohl genotypischen Eigenschaft sich leichter und früher für den Fuß realisieren. Eine Kontrolle der Staureaktion in solchen Fällen ergäbe aber auch die Möglichkeit, therapeutische Maßnahmen in ihrer Wirksamkeit zu verfolgen.

Der Volumabfall nach Stauentlastung vollzieht sich an Hand und Fuß in gleicher Weise und zeigt das typische Bild, wie es bereits in der 2. Mitt. beschrieben wurde. Auch bezüglich der Dauer des Abfalles stimmen die Durchschnittswerte für Hand und Fuß überein: Hand 36, Fuß 38 Sek. Die resultierenden Niveaudifferenzen sind in den meisten Fällen an Hand und Fuß qualitativ gleich, wenn auch bezüglich der Größe Unterschiede bis zu 2–3 cm Wasserniveau zustande kommen.

b) *Quantitative Staureaktion:* Die quantitative Abhängigkeit der Staureaktion von der jeweils angewandten Druckhöhe (s. Mitt. 2) kommt an Hand und Fuß in gleicher Weise zum Ausdruck, wie es folgende Übersicht der Durchschnittswerte zeigt:

	30 mm Hg	*50 mm Hg*	*70 mm Hg*
Hand	6,7 cm	8,3 cm	7,3 cm
Fuß	11,4 cm	13,4 cm	12,5 cm

Die durchschnittlich größten Werte finden sich also bei einem Staudruck von 50 mm Hg. Ist ein Druck von 30 mm Hg noch zu klein, um auch alle tiefer gelegenen Venen zu erfassen, so befindet sich anderseits ein solcher von 70 mm Hg bereits im Größenbereich des diastolischen Blutdruckes. Der relativ stärkere Anstieg der Fußkurve ist durch das größere Volumen gegeben, wobei prozentual aber auch in diesem Falle das Handvolumen stärker zunimmt. Bezogen auf das mittlere Hand- und Fußvolumen von 430

bzw. 1280 ccm bedeutet die Niveauverschiebung von 8,3 bzw. 13,4 cm eine Volumzunahme um 0,96% an der Hand und 0,53% am Fuß. Dieses quantitative Überwiegen der Hand haben wir durchgehend schon bei der Besprechung des Wellenbildes angetroffen, und die Staureaktion bestätigt diese Eigenschaft als Ausdruck einer prozentual kleineren Durchblutung des Fußes im Vergleich mit der Hand.

II. Der Drosselungseffekt (s. Abb. 11)

a) *Das Volumen während der Drosselung:* Nach Unterbindung der Zirkulation verliert die Volumkurve von Hand und Fuß jegliches Wellenbild. Wie in der 2. Mitt. hervorgehoben wurde, bleibt das Gesamtvolumen aber nur in wenigen Fällen annähernd konstant. Auch in unseren 27 vergleichenden Drosselungsversuchen an Hand und Fuß ist das der Fall, wie es die folgende Zusammenstellung zeigt:

	Volum-zunahme	Volum-abnahme	Konstantes Volumen
Hand	14	9	4
Fuß	21	4	2

Der deutliche Unterschied im Verhalten von Hand- und Fußvolumen könnte als an Hand und Fuß verschiedenartige Veränderungen des aktiven Gefäßtonus mit konsekutiver Blutverschiebung aufgefaßt werden. Wahrscheinlich ist aber die vorherrschende Zunahme des Fußvolumens rein hydrostatisch bedingt, da bei Flexionslage des Knies das gesamte abgesperrte

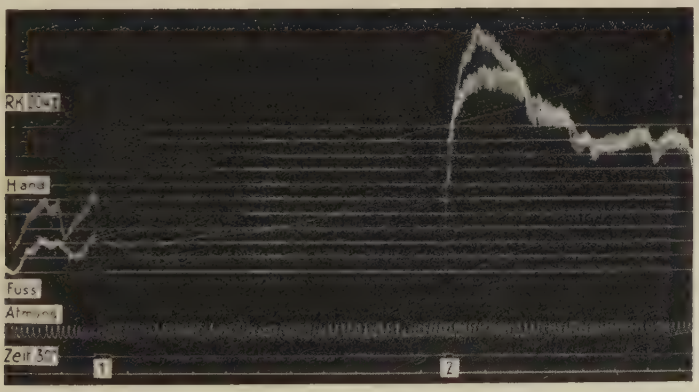


Abb. 11. 20jähr. ♂ Vp. Drosselungsversuch. Während der 5 Min. dauernden Zirkulationssperre nimmt das Handvolumen um 5 cm Niveauverschiebung ab, während der Fuß in der gleichen Zeit um 3 cm Niveauverschiebung zunimmt. Im Moment der Entdrosselung setzt in beiden Kurven eine gleichartige, durch die reaktive Hyperämie bedingte Volumzunahme mit starker Vergrößerung der Pulsschwankungen ein (vorübergehend obere Kurve Fuß, untere Kurve Hand). Die Reaktion klingt an Hand und Fuß in gleicher Weise ab, so daß die Kurven sich stellenweise überdecken.

Gefäßgebiet des Unterschenkels die Tendenz zeigt, Richtung Fuß abzufließen.

b) *Das Volumen während der reaktiven Hyperämie (RH)*: Der Kurvenverlauf entspricht an Hand und Fuß dem in Mitt. 2 beschriebenen Bild: Schlagartiger Volumanstieg im Moment des Wegfalls der Drosselung mit Steigerung der Pulsschwankungen bis auf mehr als das Doppelte. Intensität und Dauer der RH sind je nach Drosselungszeit verschieden groß. Die für die 3- und 5-Min.-Gruppe errechneten Mittelwerte unserer Versuche zeigen dementsprechend deutliche Unterschiede:

		Max. Volumanstieg in ccm	Dauer der Volumvergrößerung in Sek.
3 Min. Drosselungsdauer	Hand	8,2	116
	Fuß	3,3	117
5 Min. Drosselungsdauer	Hand	11,3	172
	Fuß	7,7	167

Volummäßig stärker reagiert also die Hand, während bezüglich der Dauer bis zum Abklingen des Volumeffektes kein Unterschied zwischen Hand und Fuß besteht. Da die Volumwirkung der RH je nach den momentanen Abflußbedingungen verschieden ist (Mitt. 2), können maximaler Volumanstieg und Intensität der RH aber nicht als proportionale Größen aufgefaßt werden, so daß in dieser Beziehung der Vergleich Hand-Fuß wenig aussagt. Ein genaueres Maß und damit eine bessere Vergleichsmöglichkeit des Verhaltens von Hand und Fuß bietet die Bestimmung der Dauer bis zum Abklingen der durch die RH erzeugten Volumzunahme. Sie kann als proportionale Größe für die Dauer der reaktiven Mehrdurchblutung gelten. *Lewis* (18) bezeichnet als Normalwert für die letztere eine Dauer, welche etwa die Hälfte bis zwei Drittel der vorangehenden Ischämie beträgt. Die von uns gefundenen Zeitwerte verteilen sich so, daß nach kürzerer Drosselungszeit (3 Min.) die RH nur 3–4 Sek. weniger lange anhält, als es zwei Dritteln der vorangegangenen Drosselungsdauer entspricht, während bei länger anhaltender Drosselung (5 Min.) die folgende RH-Phase proportional kürzer ist. Die Verhältnisse liegen also so, daß die Dauer der reaktiven Mehrdurchblutung nur innerhalb gewisser Zeitgrenzen mit der Dauer des vorangehenden Zirkulationsunterbruches sowohl absolut wie relativ zunimmt. Darüber hinaus aber nimmt die RH mit Verlängerung der Drosselungsdauer relativ ab. Auch diese Feststellung gilt in gleicher Weise für Hand und Fuß. Ob die Weitstellung der Strombahn während der Drosselung allein durch humorale Regulationsmechanismen erfolgt, oder ob auch Einflüsse nervöser Art, namentlich auf die größeren Gefäße, eine Rolle spielen, kann aus den vorliegenden Befunden nicht geschlossen werden. Dazu sind Versuche unter pharmakologisch veränderten Kreislaufbedingungen oder an Vp mit angiopathischen Reaktionen nötig.

Zusammenfassung

1. Die Methodik der gleichzeitigen Plethysmographie von Hand und Fuß und die dabei einzuhaltenden Bedingungen werden beschrieben.

2. Das Wellenbild der Volumkurven von Hand und Fuß wird getrennt nach Wellen I.–IV. Ordnung vergleichend untersucht und analysiert. Hand und Fuß zeigen durchwegs ein qualitativ gleiches Wellenbild. Die quantitativ stärkere Ausprägung der Wellen an der Hand ist Ausdruck der prozentual höheren Durchblutung derselben im Vergleich mit dem Fuß. In der Besprechung der Entstehungsbedingungen der Volumschwankungen ergibt sich, daß vor allem zentrale Faktoren von Bedeutung sind. Insbesonders erweisen sich die Wellen III. und IV. Ordnung nicht als Ausdruck peripherautonomer Gefäßtätigkeit, sondern als Wirkung tonischer Impulsschwankungen des Vasomotorenzentrums auf die Gefäße.

3. Der Einfluß verschiedener sog. respiratorischer Reize auf das Volumen von Hand und Fuß wird untersucht. Bei mengenmäßiger Betrachtung fällt immer die Reaktion der Hand stärker aus. Ein qualitativ abweichendes Verhalten von Hand und Fuß wird aber nur bezüglich des Valsalva-Versuches festgestellt. Die Wirkungsmechanismen dieser Effekte werden besprochen, wobei neben hämodynamisch bedingten Auswirkungen auch zentralnervöse Impulse zu berücksichtigen sind.

4. Stau- und Drosselungsversuche an Hand und Fuß werden vergleichend besprochen und ein qualitativ übereinstimmendes Verhalten beider Kreislaufgebiete als normale Reaktion festgestellt.

5. Das dominierende Merkmal normaler, gleichzeitig und unter gleichen Bedingungen registrierter Plethysmogramme von Hand und Fuß ist also der qualitativ übereinstimmende Verlauf beider Kurven. Diese Übereinstimmung bezieht sich sowohl auf die spontanen Veränderungen des Plethysmogrammes als auch auf gewisse aktive (tiefe Inspiration, Atemstillstand, Hyperventilation) und passive (Stauung und Drosselung) Eingriffe. Unter diesen Verhältnissen und unter der in allen Versuchen herrschenden Grundbedingung körperlicher Ruhe und konstanter Temperatur *steht der periphere Kreislauf in erster Linie unter dem Einfluß zentraler Faktoren und treten rein peripher gesteuerte Gefäßreaktionen in den Hintergrund.*

Ich möchte es nicht unterlassen, auch an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. E. Rothlin für die tatkräftige Förderung dieser Arbeit meinen Dank auszusprechen.

1. *Rothlin, E.*, und *Bluntschli, H. J.*: Helv. Physiol. Acta **2**, 149 (1944). – 2. *Rothlin, E., Bluntschli, H. J.*, und *Cerletti, A.*: Helv. Physiol. Acta **3**, 373 (1945). – 3. *Atzler, E.*, und *Herbst, R.*: Z. exper. Med. **38**, 137 (1923). – 4. *Goetz, R. H.*: Pflügers Arch. **235**, 271 (1935). – 5. *Abramson, D. J., Zazeela, H., Marrus, J.*: Amer. Heart J. **17**, 206 (1938). – 6. *Hess, W. R.*: «Die Regulierung der Atmung». Leipzig. Thieme 1931. – 7. zit. nach *Fleisch, A.* (8). – 8. *Fleisch, A.*: Hdb. norm. pathol. Physiol. 7/2, 2. Teil, 1285 (1927). – 9. *Tigerstedt, R.*: Physiologie des Kreislaufs IV, 2. Aufl. Berlin, de Gruyter, 1923. – 10. *Römer, G. A.*, und *Hörnicke, E.*: Z. exper. Med. **45**, 271 (1925). –

11. *Hauss, W.:* Pflügers Arch. **240,** 653 (1938). – 12. *Peters, G.:* Pflügers Arch. **241,** 201 (1939). – 13. *Martin, S. J., Marcellus, F. S.,* und *Sykowski, P.:* J. Lab. clin. Med. **24,** 111 (1938). – 14. *Seiler, O.:* Z. Kreislaufforsch. **33,** 809 (1941). – 15. *Herbst, R.:* Verh. dtsch. Ges. f. Kreislaufforsch. **1935,** S. 114. – 16. *Weber, E.:* «Der Einfluß psychischer Vorgänge auf den Körper». Berlin, Springer, 1910. – 17. *Wagner, R.:* «Methodik und Ergebnisse fortlaufender Blutdruckschreibung am Menschen.» Leipzig, Thieme, 1942. – 18. *Rothlin, E.:* Biochem. Z. **111,** 219 (1920). – 19. *Bürgi, S.:* Helv. Physiol. Acta **3,** 215 (1945). – 20. *Günther, G.:* Z. Biol. **65,** 401 (1915). – 21. *Foà, C.:* Pflügers Arch. **153,** 513 (1913). – 22. *Hess, W. R.:* Pflügers Arch. **173,** 243 (1919). 23. *Fleisch, A.:* Schweiz. med. Wschr. **50,** 461 (1920). – 24. *Wright, G. W.,* und *Phelps, K.:* J. clin. Invest. **29,** 273 (1940). – 25. *Wilkins, R. W., Doupe, J.,* und *Newman, H. W.:* Clin. Sci. **3,** 403 (1937/38). – 26. *Hochrein, M.,* und *Schleicher, J.:* Münch. med. Wschr. **89,** 47 (1942). – 27. *Lieb, C. C., Mulinos, M. G.,* und *Taylor, H. L.:* Proc. Soc. exper. Biol. Med. **34,** 89 (1936). – 28. *Gross, F.,* und *Matthes, K.:* Arch. Kreislaufforsch. **8,** 175 (1941). – 29. *Lewis, Th.:* « Die Gefäßstörungen der Gliedmaßen.» Leipzig, Thieme, 1938.

Curriculum vitae

Geboren 11. Februar 1918 in Ilanz (Grbd.). 6 Jahre Primarschule in Ilanz. Gymnasium mit Literar-Maturität Typ A 1937 in Schwyz. Vorklinische Semester in Freiburg i. Ue. und Bern. Klinisches Studium und Staatsexamen im Herbst 1943 in Bern.